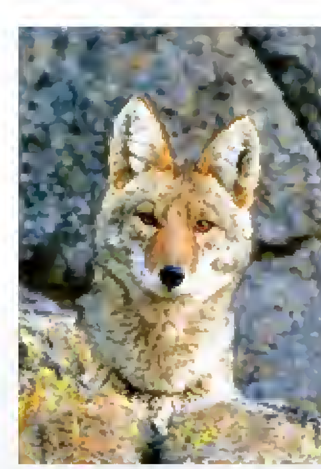


LAS INTERACCIONES BIOLÓGICAS EN EL PASTIZAL ALPINO MEXICANO, UN GRAN ENREDO EN LAS CUMBRES.
PÁG: 7



CONSERVANDO EL PASTIZAL ALPINO MEXICANO: CONOCIMIENTOS, AMENAZAS Y ESPERANZAS.
PÁG:12



NÚM. 142 ENERO-FEBRERO DE 2019

ISSN: 1870-1760

BioDIVERSITAS

BOLETÍN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

LA VEGETACIÓN ALPINA MEXICANA

Es uno de los ecosistemas más extremos del mundo y está en las cimas de las montañas más elevadas de México. Es habitado por seres muy particulares y algunos de ellos han sobrevivido a erupciones volcánicas, sequías y nevadas históricas. Además, todo el ecosistema está en riesgo de extinción ante el cambio climático global.

LA VEGETACIÓN ALPINA MEXICANA:

islas frías sobre las nubes

VICTOR W. STEINMANN,
LIBERTAD ARREDONDO AMEZCUA,
YOCUPITZIA RAMÍREZ AMEZCUA,
SUSANA MAZA-VILLALOBOS MÉNDEZ,
RODRIGO A. HERNÁNDEZ CÁRDENAS
Y ALICIA MASTRETTA YANES



Popocatépetl e Iztaccíhuatl vistos como islas en el cielo desde La Malinche.
Foto: © Alicia Mastretta-Yanes

Entre las características geográficas más impresionantes del centro de México están sus picos nevados, dispersos en la región como islas. En días despejados, millones de personas pueden observar las cimas majestuosas del Pico de Orizaba (a 5636 metros sobre el nivel del mar [msnm]), el Popocatépetl (5426 msnm), el Iztaccíhuatl (5230 msnm) o el Nevado de Toluca (4680 msnm), por mencionar algunas. Estas montañas son las más altas del país y constituyen símbolos de gran importancia para las culturas antiguas y modernas de México. Desde la época prehispánica se sabía de su importancia para la lluvia; se consideraban lugares para acercarse a la divinidad y por eso hay leyendas asociadas a ellos. Cuando Miguel Ángel de Quevedo promovió la creación de Parques Nacionales en la década de 1930, las once montañas más altas del centro del país fueron de las primeras Áreas Naturales Protegidas de México.[1]

Desde el punto de vista biológico las cimas de estas montañas también son muy especiales e importantes ya que ahí existe un ecosistema único asociado a climas mucho más fríos que los existentes en las faldas de las montañas. Este ecosistema está compuesto de matorrales bajos, pastizales y praderas de hierbas; se le conoce como pastizal tropical de alta montaña,[2] páramo de altura,[3] pastizal alpino[4] y zacatonal alpino,[4] pero nosotros en este texto lo llamaremos pastizal alpino o simplemente vegetación alpina.

Portada: Pastizales alpinos en el Nevado de Toluca.
Foto: © Ivan Montes de Oca Cacheux/CONABIO

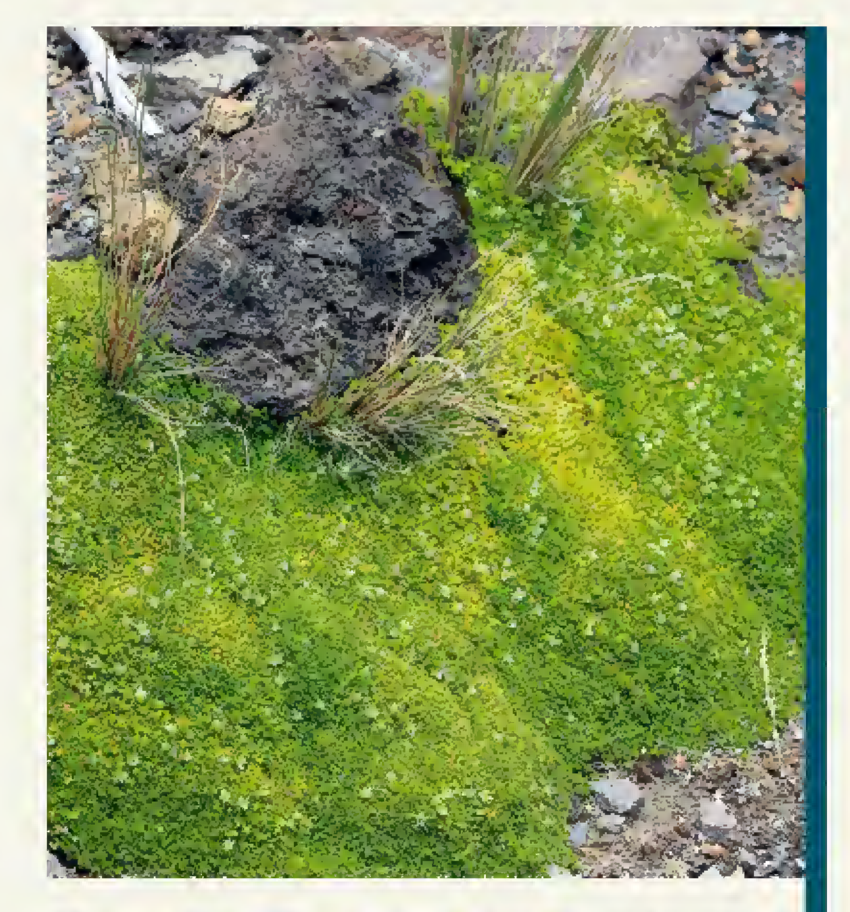
Distribución y características generales

La vegetación alpina se encuentra en todos los continentes, tanto en regiones templadas como tropicales. En México sólo se encuentra en una pequeña franja entre el límite altitudinal del desarrollo continuo de los bosques de pino (en el norte del país a partir de 3600 msnm y en el centro y sur por lo general entre 3800 y 4000 msnm) y el límite superior del desarrollo de plantas vasculares (~4 700 msnm). La singularidad e importancia de la vegetación alpina mexicana se debe, en gran medida, a dos factores: primero, su existencia es posible debido a que las temperaturas son tan bajas que no es posible el desarrollo del estrato arbóreo; segundo, su área es sumamente restringida y estimamos que ocupa menos de 0.0001% de la superficie del país.

La vegetación alpina mexicana se distribuye como un archipiélago en las cimas de unas pocas montañas de la Sierra Madre Oriental (SMOr) en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas[5, 6] y la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) en los estados de Colima, Ciudad de México, Jalisco, México, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz.[7-9] También hay un pequeño manchón en la cima del volcán Tacaná en Chiapas.[10] Se ha reportado por la Sierra Madre Occidental (SMOc) en Chihuahua[11] y la Sierra Madre del Sur en Oaxaca,[12] pero estos sitios más bien son subalpinos. Definitivamente, la distribución más extensa de vegetación alpina es en la parte oriental de la FVT, desde el Estado de México hasta Veracruz.

Si hubiera que escoger una sola palabra para describir el ecosistema alpino, *extremo* sería una muy buena elección. Las personas que han tenido la oportunidad de conocer estos ambientes de primera mano saben que una simple caminata es un esfuerzo considerable debido a la baja cantidad de oxígeno que hay en estas zonas. Por tener menos presión atmosférica, a los 4 000 msnm el aire es más liviano y la disponibilidad de oxígeno es sólo del 60% de la existente a nivel del mar. Además, estas áreas están expuestas a temperaturas muy bajas, con promedios anuales de 3 a 5 °C[4] y mínimos incluso menores a -20 °C; el suelo se cubre de nieve durante el invierno y parte de la primavera. Como si eso no fuera suficientemente extremo, las cimas se ven azotadas por vientos muy fuertes y cuando no están cubiertas por neblina, sufren de muy alta insolación y radiación UV. Otro fenómeno muy interesante que sucede en la vegetación alpina de zonas tropicales, como las del centro y sur de México, es la alta variación de temperatura a lo largo del día, que es tan drástica que durante algunos periodos del año la temperatura del suelo puede variar de -6 °C en la noche a los 64 °C en el día.[13] Por eso, para describir las condiciones ambientales alpinas tropicales se ha acuñado la frase "invierno cada noche, verano cada día". Debido a estas condiciones extremas, los organismos que aquí habitan han desarrollado adaptaciones especiales para sobrevivir. En la siguiente contribución de este texto se describen algunas de las más interesantes para plantas y animales.

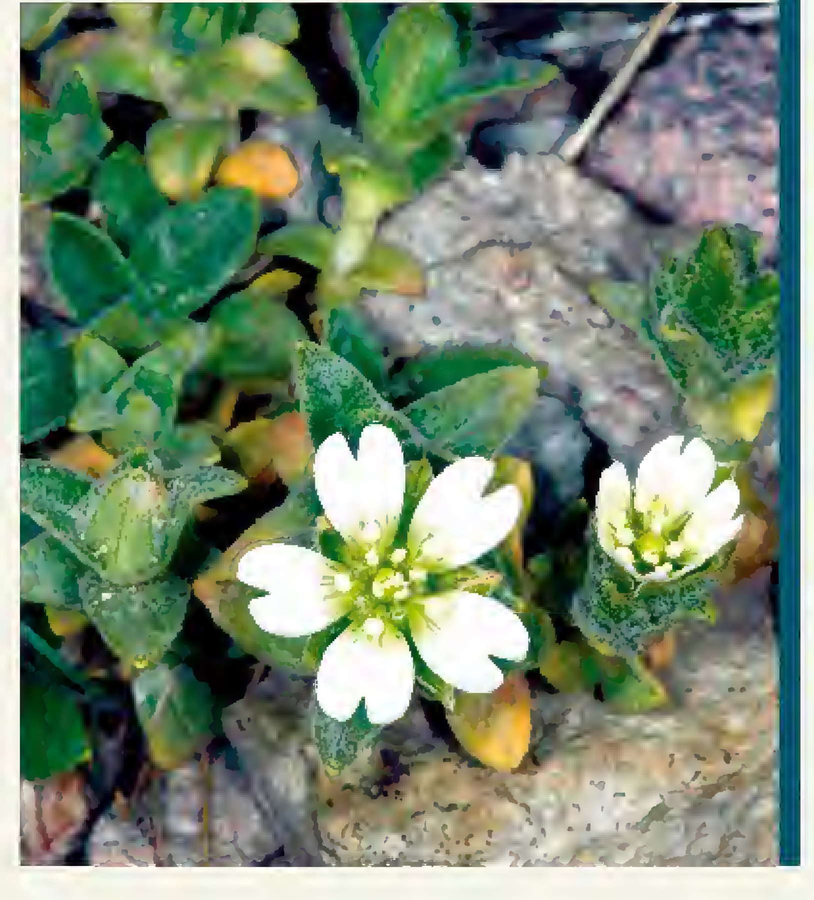
La vegetación alpina mexicana varía en composición y estructura de especies y existen diferentes agrupaciones de plantas exclusivas de un solo pico.[8, 14] En las altitudes superiores de los volcanes más altos, la apariencia es muy similar a un desierto y se caracteriza por tener espacios muy abiertos con escaso crecimiento de plantas, las cuales suelen alcanzar solamente unos pocos centímetros de altura. Sin embargo, mientras que en los desiertos el factor limitante para el desarrollo vegetal es el agua, en las praderas alpinas los factores limitantes son las bajas temperaturas, el cambio drástico de la temperatura a lo largo del día, la presencia de nieve durante parte del año y los fuertes vientos.



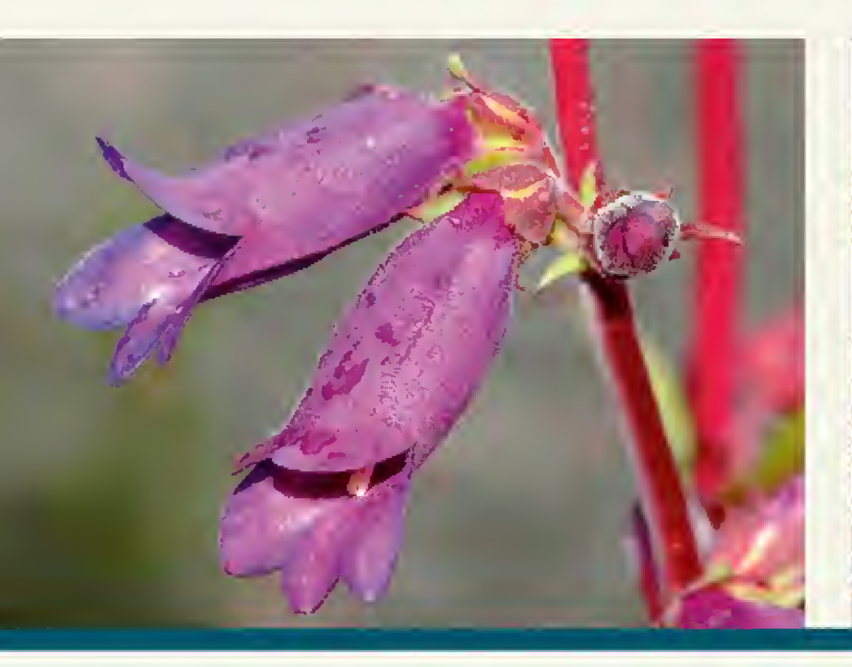
Arenaria bryoides (Caryophyllaceae).
Fotos: © Libertad Arredondo Amezcua



Eryngium proteiflorum (Apiaceae), especie característica de las praderas alpinas del centro de México.
Fotos: © Victor W. Steinmann



Cerastium purpusii (Caryophyllaceae), especie restringida a las praderas alpinas del Iztaccíhuatl y el Nevado de Toluca.
Fotos: © Victor W. Steinmann





Penstemon gentianoides (Plantaginaceae), en el Cofre de Perote.

Fotos: © Victor W. Steinmann

Draba nivicola (Brassicaceae) (flores amarillas) con *Festuca livida*.

Plantago tolucensis (Plantaginaceae), especie restringida a la vegetación alpina del centro de México.

Tal vez se están preguntando: ¿por qué no hay bosques en las cimas de las montañas más altas? La respuesta también tiene que ver con el frío. Por un lado, hay un límite inferior de temperatura (7 °C) en el que las plantas ya no pueden construir células eficientemente.[15] Por otro lado, los árboles, al tratar de sobresalir del suelo se exponen a vientos muy fuertes y fríos que dañan sus brotes limitando así su establecimiento y crecimiento. Además, así como los árboles dan sombra a quienes se encuentran debajo de ellos, también se dan sombra a sí mismos y esto disminuye aún más la temperatura de sus brotes y raíces.[16] Aunque hay algunos árboles en las zonas bajas de la vegetación alpina, éstos son individuos aislados que suelen estar asociados a rocas (que conservan una mejor temperatura) y/o están achaparrados o casi acostados para evitar el viento helado.

Flora

Aunque existen algunos listados florísticos de sitios con vegetación alpina en México,[8, 11, 14] hace falta una síntesis detallada sobre la riqueza del ecosistema en su totalidad. Con la información disponible sabemos que la diversidad de plantas vasculares en las zonas alpinas de México es baja en comparación con la de otros tipos de vegetación, lo cual es de esperarse, tomando en cuenta su pequeñísima distribución. Aunque la mayoría de las especies alpinas también se encuentran en los bosques subalpinos adyacentes, su flora consiste en un interesante conjunto de aproximadamente 50 familias y 350 especies, que incluye muchos endemismos estrictos (especies con una distribución muy limitada). La mayor parte de esta diversidad se concentra en la FVT, donde se han registrado 230 especies,[17] siendo el Iztaccíhuatl el pico más diverso (> 170 especies). Sin embargo, los niveles de endemismo, es decir de especies que sólo se encuentran en un lugar, son más altos en la SMOr.[6] De hecho, la vegetación alpina de la SMOr se puede considerar como un micro-*hotspot* (un lugar con gran cantidad de endemismos), pues hay varias especies que se localizan en un solo pico.[6]

La composición de la flora alpina es atípica respecto de la diversidad general de México. Por ejemplo, algunos de los grupos megadiversos de la flora mexicana no están presentes en la vegetación alpina (Orchidaceae y Cactaceae) o cuentan con muy pocas especies (Euphorbiaceae, Fabaceae, Lamiaceae y Rubiaceae). Los helechos están representados por aproximadamente 12 especies y los más comunes son el helecho perejil (*Cystopteris fragilis*) y *Asplenium castaneum*. Hay seis gimnospermas registradas, pero solamente dos son frecuentes: el ocote blanco (*Pinus hartwegii*) y el enebro azul (*Juniperus monticola*), que ocupan los primeros lugares dentro de las coníferas que crecen a mayor altitud. El resto de especies (~330) son plantas con flor (angiospermas). Las familias con más especies son Asteraceae, Caryophyllaceae y Poaceae, que en conjunto representan aproximadamente 40% del total de ellas. Las diferentes regiones alpinas de México tienen composiciones muy distintas y el número de especies compartido entre zonas alpinas de la SMOr y la FVT es mínimo.[11, 18] Como se pueden imaginar, la vegetación alpina de la SMOr tienen más afinidades con las de Estados Unidos de América y la vegetación alpina del centro y sur de México con Centro y Sudamérica.

Otra particularidad de la vegetación alpina mexicana es que tiene muchas especies disyuntas, es decir, que una misma especie terminó por distribuirse y separarse geográficamente de su población original, como resultado de dispersión a larga distancia o cambios geológicos y geográficos. Así pues, algunas especies tienen sus poblaciones más cercanas en las cimas de otros picos cercanos, mientras hay otras que las tienen muy lejos, sean del norte o del sur del continente. Por ejemplo, en la Antártida solamente hay dos especies nativas de plantas vasculares, una de ellas, *Colobanthus quitensis,* también crece de manera silvestre en el Pico de Orizaba y el Iztaccíhuatl, ¡a más de 2,000 km de distancia de sus poblaciones andinas más cercanas! Otro caso es el de *Sibbaldia procumbens*, una planta ampliamente distribuida en las zonas alpinas de Europa, Asia y Norteamérica, que en nuestro país solamente está en las zonas alpinas de los estados







de México y Tlaxcala. Éstos son algunos ejemplos sumamente interesantes para los biólogos, geólogos y curiosos de la naturaleza.

En la vegetación alpina mexicana habitan seres muy particulares. El enebro azul es un arbusto achaparrado exclusivo de la alta montaña mexicana. Crece en afloramientos rocosos hasta los 4 300 msnm, forma matas densas con troncos retorcidos y es a menudo rastrero. Lo interesante de esta especie es su longevidad pues ¡se han encontrado plantas vivas de hasta 900 años!,[19] lo que quiere decir que sus individuos más viejos han sobrevivido erupciones volcánicas, sequías y nevadas históricas, y además guardan evidencia de ello en sus entrañas. Bien podríamos decir que cada enebro azul es una "máquina del tiempo meteorológica" ya que a través de la lectura de sus anillos de crecimiento, podemos saber cómo fue el clima siglos atrás.

La vegetación alpina en el pasado

Durante los periodos glaciales (de mayor frío) e interglaciales (como el presente, cuando hay menos frío) del Pleistoceno (hace ~2.5 millones a 11 000 años), la vegetación alpina de México experimentó una serie de contracciones y expansiones, migrando altitudinalmente en los macizos montañosos y cordilleras que habita. En el periodo glacial más reciente, el Wisconsiniano (hace ~85 000-11 000 años), las praderas alpinas estaban entre 1 000 y 1 300 m más abajo de su límite altitudinal actual. Sin embargo, en el Holoceno temprano (~11 000 años) comenzaron a retraerse de nuevo a las cimas de los picos más altos a causa de cambios climáticos naturales.[18, 20]

Este fenómeno de contracción-expansión altitudinal de poblaciones se ha comprobado a nivel genético en un estudio sobre dos especies de arbustos rupícolas (que habitan sobre rocas) de las zonas alpinas y subalpinas de la FVT: el enebro azul y el acebo (*Berberis alpina*). Resulta que las poblaciones de estas dos especies permanecieron *in situ* (en el mismo lugar) a lo largo de los ciclos glaciales/interglaciales del Pleistoceno, siguiendo aisladas entre sí, incluso durante la fase de mayor expansión-glacial. En teoría, este aislamiento por tanto tiempo puede favorecer la aparición y acumulación de diversidad genética y en consecuencia podría llevar a la aparición de nuevas especies de distribución muy restringida.[21] Lo anterior muestra la importancia que tienen nuestras montañas para la supervivencia de especies de afinidad fría y para procesos de diversificación.

Un futuro más caluroso

Cambios climáticos como los del Pleistoceno son naturales y han ocurrido durante millones de años. De hecho, han existido periodos más cálidos que el actual y es posible que la vegetación alpina haya estado aún más fragmentada y restringida que en el presente. Sin embargo, en los últimos dos siglos el planeta ha sido afectado por un calentamiento global antropogénico, resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero en la atmósfera, cosa que ha ocurrido a una velocidad muy alta y sin precedentes. Ante estos cambios tan acelerados, no sabemos cómo reaccionarán las plantas y los animales, ya que los procesos de adaptación pueden llevar mucho, mucho tiempo.

Considerando que la distribución actual de la vegetación alpina es pequeña, está sumamente fragmentada y depende de condiciones extremadamente frías para su desarrollo, existe la posibilidad de que durante el transcurso del siglo XXI este ecosistema se extinga o sea reemplazado por bosques que prosperan en condiciones menos frías. Por ende, el cambio climático es una de las amenazas principales para las praderas alpinas de México y todo el mundo. Así lo demuestra un estudio con seis especies alpinas de la FVT y métodos de modelado de nicho ecológico (una herramienta que permite proyectar las distribuciones del hábitat propicio para el desarrollo de una especie al futuro o al pasado), que encontró un claro patrón de contracción de nicho climático para finales del siglo XXI.[22] Bajo estas predicciones, se concluye que la vegetación alpina de México está en alto riesgo, por lo que es urgente estudiar este ecosistema. Con un mejor entendimiento, seremos capaces de proponer estrategias viables para la conservación de la vegetación alpina, no sólo ante el calentamiento global, sino ante otras amenazas.

Draba nivicola (Brassicaceae) en el Pico de Orizaba.
Foto: © H. Pauli

Lupinus montanus (Fabaceae), en el Pico de Orizaba.

Juniperus monticola (Cupressaceae), en el Pico de Orizaba.
Fotos: © Victor W. Steinmann



Calamagrostis orizabae (Poacea), en el Pico de Orizaba.
Fotos: © Victor W. Steinmann

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias a un apoyo de la CONABIO (JF076, Flora Alpina del Centro de México).

Bibliografía

1 Urquiza García, J.H. 2014. *Ciencia forestal, propiedad y conservación para el desarrollo nacional. Los estudios y trabajos ambientales de Miguel Ángel de Quevedo: una historia de su influencia en las políticas de conservación de las cuencas hidrológicas (1890-1940).* Tesis doctoral. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

2 García Romero, A. 2004. Dinámica del paisaje post-fuego en el pastizal tropical de alta montaña. Volcán Iztaccíhuatl, México. *Interciencia* 29:604-611.

3 Miranda, F. y E. Hernández-X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-179.

4 Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. [En línea]: http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

5 Beaman, J. H. y H. W. Andresen. 1966. Floristics and Phytogeography of the Summit of Cerro Potosi, Mexico. *American Midland Naturalist* 75:1-33.

6 McDonald, J.A. 1990. The alpine-subalpine flora of northeastern Mexico. *Sida* 14:21-28.

7 Almeida, L., A.M. Cleef, A. Herrera, A. Velázquez e I. Luna. 1994. El zacatonal del Volcán Popocatépetl, México, y su posición en las montañas tropicales de América. *Phytocoenologia* 23:391-436.

8 Almeida-Leñero, L., M. Escamilla, J. Giménez de Azcárate, A. González Trápaga y A.M. Cleef. 2007. Vegetación alpina de los volcanes Popocatépetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca. En: I. Luna, J.J. Morrone y D. Espinosa (eds.), *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. México: Universidad Nacional de México.

9 Navare, H. 1985. La vegetación del Cofre de Perote, Veracruz. *Biótica* 1:35-57.

10 Miranda, F. 1952. *La vegetación de Chiapas. Primera parte*. Tuxtla Gutiérrez: Ediciones del Gobierno del Estado.

11 McDonald, J.A., J. Martinez y G.L. Nesom. 2011. Alpine flora of Cerro Mohinora, Chihuahua, Mexico. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 5:701-705.

12 McDonald, J.A. 2013. Alpine flora of Cerro Quiexobra, Oaxaca, Mexico. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 7:765-769.

13 Lauer W. y D. Klaus. 1975. Geological Investigations on the Timberline of Pico de Orizaba, Mexico. *Arctic and Alpine Research* 7:315-330.

14 García Arévalo, A. y S. González Elizondo. 1991. Flora y vegetación de la cima del Cerro Potosí, Nuevo León, México. *Acta Botanica Mexicana* 13:53-74.

15 Hovenden, M. y K. Green. 2013. *Why don't trees grow above a particular altitude?* http://www.abc.net.au/science/articles/2013/09/16/3839899.htm.

16 Körner, C. 2003. *Alpine Plant Life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Berlín: Springer.

17 Steinmann, V.W., Y. Ramírez Amezcua, L. Arredondo Amezcua y R.A. Hernández Cárdenas. En proceso. *Flora alpina del centro de México.*

18 McDonald, J.A. 1998. Fitogeografía e historia de la flora alpina-subaplina del noreste de México. En: T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.), *Diversidad Biológica de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

19 Villanueva-Díaz J., L. Vázquez Selem, A. Gómez Guerrero, J. Cerano Paredes, N. Aguirre González y O. Franco Ramos. 2016. Potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* Martínez en el Monte Tláloc, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39:175-185.

20 Mastretta Yanes, A., A. Moreno Letelier, D. Piñero, T.H. Jorgensen y B.C. Emerson. 2015. Biodiversity in the Mexican highlands and the interaction of geology, geography and climate within the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of Biogeography* 42:1586–1600. doi:10.1111/jbi.12546

21 Mastretta Yanes, A., A.T. Xue, A. Moreno Letelier, T.H. Jorgensen, N. Alvarez, D. Piñero y B.C. Emerson. 2018. Long-term in situ persistence of biodiversity in tropical sky-islands revealed by landscape genomics. *Molecular Ecology*: doi:10.1111/mec.14461.

22 Ramírez Amezcua, Y., V.W. Steinmann, E. Ruiz-Sánchez y O.R. Rojas Soto. 2016. Mexican alpine plants in the face of global warming: potential extinction within a specialized assemblage of narrow endemics. *Biodiversity and Conservation* 25:865-885.

Las interacciones biológicas en el pastizal alpino mexicano

UN GRAN ENREDO EN LAS CUMBRES

LIBERTAD ARREDONDO AMEZCUA, VICTOR W. STEINMANN, SILVANA MARTÉN RODRÍGUEZ, CARLOS A. GUTIÉRREZ CHÁVEZ, LUCÍA ALMEIDA-LEÑERO, YOCUPITZIA RAMÍREZ AMEZCUA, RODRIGO A. HERNÁNDEZ CÁRDENAS, ALICIA MASTRETTA YANES Y SUSANA MAZA-VILLALOBOS MÉNDEZ



Lagartija escamosa de mezquite entre rocas cerca del Primer Portillo en el Iztaccíhuatl.
Fotos: © Adolfo López Magaña

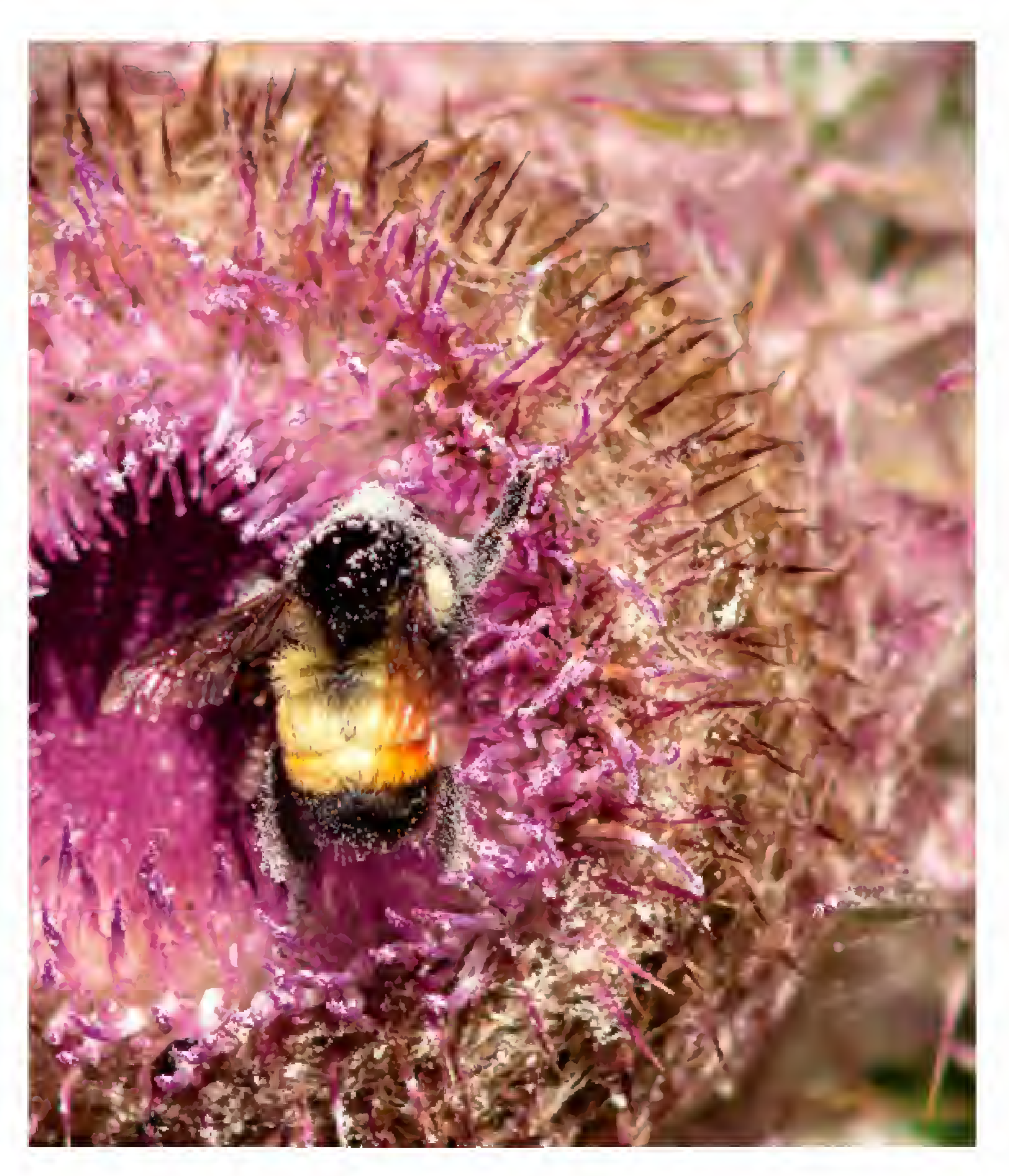
Han pasado más de 150 años desde que el naturalista Charles Darwin publicó su trabajo monumental "La fecundación de las orquídeas". En él describió a detalle, de manera fascinante, las formas de estas flores y sus posibles funciones para lograr un ajuste preciso con el del cuerpo de sus polinizadores, resultando en una efectiva transferencia de polen. Éste y otros de sus minuciosos estudios apenas dibujaban la complejidad de las relaciones entre los seres vivos. Hoy seguimos intrigados, intentando comprender los diversos tipos de interacciones biológicas que existen y descubriendo que entre éstas, la facilitación y el mutualismo son más comunes de lo que se pensaba y que desempeñan un papel muy importante en la estructuración de la vida en el planeta,[1] particularmente en ambientes extremos como las regiones alpinas.[2]

Calorcito compartido

Los seres vivos de la región alpina se enfrentan todos los días al frío y a una fuerte variación ambiental: mientras la temperatura del entorno puede oscilar en un intervalo de 30 °C, en el suelo los cambios son más severos y se han medido temperaturas de hasta 64 °C durante un día soleado y de -6 °C por la noche.[3] Por ello, para los habitantes del pastizal alpino administrar y conservar el calor es clave para sobrevivir y enfrentan el calor y el frío excesivos mediante estrategias diversas. Por ejemplo, algunos organismos habitan entre rocas que absorben y liberan el calor lentamente funcionando como termos; algunas plantas forman rosetas o macollos, lo que les permite recibir el calor y guardarlo entre sus hojas y tallos.[4] Insectos como los abejorros, que son abundantes, están cubiertos de pelos que les ayudan a regular el calor;[5] los colibríes pueden entrar en una especie de hibernación nocturna (letargo) y así gastar menos energía.[6] En la zona alpina habitan asombrosos reptiles vivíparos como la cascabel transvolcánica (*Crotalus triseriatus*) y la lagartija espinosa de mezquite (*Sceloporus grammicus*) que mantienen a sus embriones en su vientre en lugar de poner huevos, controlando así una temperatura óptima para el desarrollo de sus crías.[7]

Aunado a este tipo de estrategias, la facilitación es una interacción importante para sortear lo extremo. En el pastizal alpino es común observar distintas hierbas desarrollándose bajo el cobijo de los grandes pastos amacollados (como *Festuca tolucensis*), que les ofrecen condiciones más cálidas que a cielo abierto.[8] Animales como conejos (*Sylvilagus* sp.) y teporingos (*Romerolagus diazi*) también aprovechan el microclima que ofrecen los grandes pastos y construyen sus madrigueras por debajo de éstos; además se ha observado que los teporingos comparten su casa con musarañas (*Sorex saussurei*) y ratones de montaña (*Neotomodon alstoni*).[9] Aunque no se ha estudiado qué beneficio les ofrece esta interacción a dichas especies, se puede aventurar que permitiría mantener el calor en la madriguera.

En las partes más agrestes y más altas, el musguito de zacatonal (*Arenaria bryoides*) tiene una función similar al de los pastos.[10] Esta planta esencialmente alpina es la única que forma cojines en México.[11, 12] Dicho tipo de crecimiento es llamado así debido a que los tallos y hojas son muy reducidos y se desarrollan tan juntos que generan una estructura compacta, densa y con forma redondeada; es típica de las zonas alpinas alrededor del mundo y ofrece a las plantas múltiples beneficios: permite que el sol las caliente desde todos los ángulos, retiene tanto el calor y la humedad como la materia orgánica y los nutrientes.[13, 14]



Abejorro lleno de polen sobre *Cirsium nivale*, en el Iztaccíhuatl.
Foto: © Adolfo López Magaña

El musguito de zacatonal es una especie pionera que crece en laderas desnudas y permite que otros seres vivos aprovechen su "oasis cálido en el desierto helado" para establecerse. Por ello, juega un papel importante en los procesos de sucesión del ecosistema y cobra mayor relevancia ante el calentamiento global, al facilitar la migración montaña arriba de otras especies para escapar del aumento de la temperatura.[15] Por posibilitar el establecimiento de muchas especies, tanto los grandes pastos amacollados como el musguito de zacatonal se consideran "ingenieros ecosistémicos".[13, 16]

Trueque en las alturas

Las interacciones mutualistas de polinización y dispersión de semillas son muy importantes para la subsistencia de muchas especies. Debido a que las plantas son inmóviles, requieren ayuda para llevar el polen de flor en flor o las semillas a nuevos sitios para iniciar su desarrollo. Con el fin de lograr el transporte de polen o semillas, las plantas ofrecen a los animales recompensas como el néctar o la parte carnosa de sus frutos.[1] En el pastizal alpino el viento desempeña una labor importante tanto para polinizar como para dispersar semillas, pero al menos 62% de las plantas interactúan con los animales para estos fines. Los principales polinizadores en este ambiente son las moscas y los abejorros,[17] pero existe un pequeño grupo de plantas que depende de los colibríes. Éste es el caso de la garañona de alta montaña (*Castilleja tolucensis*), planta que habita exclusivamente en los pastizales alpinos de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) y que es polinizada por al menos tres especies de colibríes, que ascienden a más de 4000 metros de altitud a alimentarse de sus flores. A cambio del transporte de polen, los colibríes cuentan con una fuente de néctar durante la primavera, cuando hay pocos recursos alimenticios para ellos en los bosques cercanos.[18]

Otro caso fascinante es el del acebo (*Berberis alpina*), un arbusto rastrero que crece en las crestas rocosas; sus flores despiden un dulce aroma y ofrecen néctar a los abejorros que las visitan, quienes son capaces de volar grandes distancias llevando el polen consigo; sus frutos morados y carnosos, probablemente son dispersados por aves que alcanzan otras peñas lejanas, perfectas para el establecimiento de nuevos individuos.[17]

El 75% de las aves que habitan el pastizal alpino de la región central de la FVT interactúa con plantas ya sea consumiendo néctar (31%) o frutos y semillas (44%).[19] Así, pájaros como el zacatonero serrano (*Oriturus superciliosus*), el junco ojos de lumbre (*Junco phaeonotus*), o pequeños mamíferos como ratones, conejos y teporingos, que se alimentan de hierbas, semillas y frutos, son dispersores potenciales de semillas.[20, 21] Incluso se ha observado que mamíferos que son principalmente carnívoros pueden desempeñar una función como dispersores, como el coyote (*Canis latrans*) que dispersa semillas de



Zumbador cola ancha macho forrajeando en flores de *Ipomoea purpurea*, en el Iztaccíhuatl.
Foto: © Adolfo López Magaña

garbancillo (*Lupinus montanus*) en la alta montaña.[22] En las zonas más altas del cinturón alpino donde el frío, la radiación solar y la falta de nutrientes hacen que la vida sea casi imposible, muy pegaditos a las rocas crecen los líquenes.[23] Entre la roca desnuda se pueden observar manchones naranjas y amarillos fosforescentes, que parecen marcas que algún alpinista dejó, pero no lo son. El liquen es una forma de vida única que surge de la asociación de un alga y un hongo, tan resistente que es capaz de subsistir en las condiciones ambientales más adversas gracias a que el hongo provee protección contra la desecación y la tremenda radiación solar, mientras el alga aporta la energía para vivir a través de la fotosíntesis.[24]

Un verdadero relajo

Nuestros pastizales alpinos son reconocidos como importantes zonas de alimentación de al menos tres especies de aves rapaces: el aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*), el halcón peregrino (*Falco peregrinus*) y el cernícalo americano (*Falco sparverius*). También son hábitat de cuatro especies de grandes carnívoros: el coyote, la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), el lince (*Lynx rufus*) y el puma (*Puma concolor*). Dichos depredadores pueden alimentarse de diversos organismos que habitan la región alpina como ratones, tuzas, musarañas, conejos, teporingos, lagartijas y al menos una especie de serpiente de cascabel, una de salamandra y una de rana. A su vez lagartijas, ratones y otros pequeños mamíferos consumen insectos que habitan entre las plantas como el musguito de zacatonal, que además es parasitado por la garañona de alta montaña, que como ya se mencionó alimenta a los colibríes, quienes junto a otras nueve especies de pájaros completan su dieta con insectos.[18, 19, 20, 25, 26, 27] Volviendo la vista al cielo, se puede observar a las aves rapaces compitiendo por el territorio en tremendos enfrentamientos entre ellas y con cuervos (*Corvus corax*), y revoloteando entre la vegetación al colibrí zumbador cola ancha (*Selasphorus platycercus*), defendiendo parches de flores de campanilla morada (*Penstemon gentianoides*) de otros colibríes y del picochueco vientre canela (*Diglossa baritula*), un pájaro que agujerea las flores para robar néctar.[18, 19] Así, además de la facilitación y el mutualismo, el parasitismo, la competencia, la depredación, entre otros, configuran una compleja red de interacciones entre los seres vivos.[27] Por

si fuera poco, muchos animales hacen migraciones altitudinales durante el día y a lo largo del año, habitando tanto el pastizal alpino como los bosques cercanos, por lo que las interacciones no sólo se limitan al ecosistema alpino, sino que son parte de una red de subsistencia más amplia en la alta montaña.[18]

Conclusiones

Nuestros pastizales alpinos resguardan una gran biodiversidad, tanto por las especies que ahí habitan como por las interacciones biológicas que éstas construyen y que sustentan al ecosistema. Si una especie desaparece o su población decrece, es muy probable que las especies asociadas también se vean afectadas.[28] Es importante mencionarlo ya que en la Norma Oficial Mexicana para Especies Amenazadas (NOM-059), se enlistan varias de la fauna alpina como la lagartija espinosa de mezquite, el lagarto alicante del Popocatépetl (*Barisia imbricata*), el halcón peregrino, el gavilán de Cooper, el gorrioncito serrano (*Xenospiza baileyi*), el teporingo y el tejón (*Taxidea taxus*), y siete especies de plantas, entre ellas el enebro azul (*Juniperus monticola*), la garañona de alta montaña y el musguito de zacatonal.[29]

En este trabajo hablamos sobre algunas de las interacciones más evidentes y estudiadas de la zona alpina, pero desde los microbios hasta los seres más complejos hay un sinfín de relaciones y en la mayoría de los casos ni siquiera tenemos una comprensión básica de éstas. Grupos como los insectos, las arañas o los hongos permanecen inexplorados para nuestros pastizales alpinos. De allí la urgencia de seguir investigando la diversidad, la ecología y la biología evolutiva de este bello y enredado ecosistema.

Bibliografía

1 Bascompte, J. y P. Jordano. 2008. Redes mutualistas de especies. *Investigación y Ciencia* [septiembre]: 50-59.

2 Cavieres, L.A., R.W. Brooker, B.J. Butterfield, B.J. Cook, Z. Kikvidze, C.J. Lortie, R. Michalet, F.I. Pugnaire, C. Schöb, S. Xiao, F. Anthelme, R.G. Björk, K.J. M. Dickinson, B.H. Cranston, R. Gavilán, A. Gutiérrez Giron, R. Kanka, J.P. Maalouf, A.F. Mark, J. Noroozi, R. Parajuli, G.K. Phoenix, A.M. Reid, W.M. Ridenour, C. Rixen, S. Wipf, L. Zhao, A. Escudero, B.F. Zaitchik, E. Lingua, E.T. Aschehoug y R.M. Callaway. 2014. Facilitative plant interactions and climate simultaneously drive alpine plant diversity. *Ecology Letters,* doi: 10.1111/ele.12217

3 Lauer, W. y D. Klaus. 1975. Geoecological Investigations on the Timberline of Pico de Orizaba, Mexico. *Arctic and Alpine Research* 7:315-330.

4 Tovar-Romero, H. 2010. *Reglas de ensamblaje entre plantas de distinta forma en un ambiente estresante*. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

5 Sømme, L. 1989. Adaptations of terrestrial arthropods to the alpine environment. *Biological Review* 64(4):367-407.

6 Andrew, J.L., D.R. Powers y S.M. Wethington. 2013. Use of torpor in a high- and mid-elevation hummingbird species in Southeastern Arizona. [En línea]: https://www.researchgate.net/publication/265208395_USE_OF_TORPOR_IN_A_HIGH-AND_MIDELEVATION_HUMMINGBIRD_SPECIES_IN_SOUTHEASTERN_ARIZONA?channel=doi&linkId=540508db0cf23d9765a6d00f&showFulltext=true].



Coyote entre rocas cerca de Ojo de Buey en el Iztaccíhuatl.
Foto: © Livingstonne Montañez Torres

[7] Guillette Jr., L. J. y G. Casas-Andreu. 1980. Fall Reproductive Activity in the High Altitude Mexican Lizard, *Sceloporus grammicus microlepidotus*. *Journal of Herpetology* 14:143-147.

[8] Vega Ramos, F.L. 2014. *La morfología como mecanismo de evasión de las temperaturas extremas en las plantas del páramo mexicano*. Tesis de licenciatura. México: Facultad de Ciencias de la UNAM.

[9] Romero, F.J. y A. Velázquez. 1994. *El conejo zacatuche: tan lejos de Dios y tan cerca de la ciudad de México*. México: Instituto Nacional de Ecología/Consejo Nacional de la Fauna.

[10] Rosas-Sánchez, M. M. 2017. *Efecto de las plantas en cojín sobre la acumulación de materia orgánica del suelo en el Nevado de Toluca*. Tesis de licenciatura. Toluca: Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEM.

[11] Rzedowski, G.C. de y J. Rzedowski. 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2ª. edición. México: Instituto de Ecología/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

[12] Steinmann, V.W., Y. Ramírez Amezcua, L. Arredondo Amezcua y R.A. Hernández Cárdenas. En proceso. *Flora alpina del centro de México*.

[13] Körner, Ch. 2003. *Alpine Plant Life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Nueva York: Springer Science & Business Media.

[14] Chen, J., Ch. Shöb, Z. Zhou, Q. Gong, X. Li, Y. Yang, Z. Li y H. Sun. 2015. Cushion plants can have a positive effect on diversity at high elevations in the Himalayan Hengduan Mountains. *Journal of Vegetation Science,* doi: 10.1111/jvs.12275

[15] Anthelme, F., L.A. Cavieres y O. Dangles. 2014. Facilitation among plants in alpine environments in the face of climate change. *Frontiers of Plant Science,* doi: 10.3389/fpls.2014.00387

[16] Tovar Romero, H.A. 2010. *Reglas de ensamblaje entre plantas de distinta forma en un ambiente estresante*. Tesis de Maestría. México: Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

[17] Arredondo Amezcua, L., S. Martén Rodríguez, V. Steinmann y R. Hernández Cárdenas. En proceso. *Interacciones de polinización y dispersión en el pastizal alpino mexicano.*

[18] Arredondo Amezcua, L., S. Martén Rodríguez, M. Lopezaraiza Mikel, C.A. Gutiérrez Chávez, E. Ramírez Aguirre, R. Sayago Lorenzana, M. del Coro Arizmendi y M. Quesada. 2018. Hummingbirds in the alpine habitats of the high Mexican mountains: new altitudinal records and ecological considerations. *Avian Conservation and Ecology* 13(1):14, doi.org/10.5751/ACE-01202-130114

[19] Arredondo Amezcua, L. y C.A. Gutiérrez Chávez. Datos sin publicar. Listado preliminar de las aves del pastizal alpino de la porción central de la Faja Volcánica Transmexicana.

[20] Melcher, I. M., F. Bouman y A.M. Cleef. 2000. Seed Dispersal in Páramo Plants: Epizoochorous and Hydrochorous Taxa. *Plant Biology* 2:40-52.

[21] Delibes Mateos, M., M. Delibes, P. Ferreras y R. Villafuerte. 2008. Key Role of European Rabbits in the Conservation of the Western Mediterranean Basin Hotspot. *Conservation Biology,* doi:10.1111/j.1523-1739.2008.00993.x

[22] Castillo Sánchez, K.G. 2017. Determinación de dieta y abundancia relativa del coyote (*Canis latrans*) en la zona de Restauración, Protección y conservación dentro del Parque Nacional, patrocinado por Volkswagen de México. *Memorias del VII Simposio de Investigación del Parque Nacional Izta-Popo*.

[23] Almeida Leñero L., M. Escamilla, J. Giménez de Azcárate, A. González Trápaga y A.M. Cleef. 2007. Vegetación alpina de los volcanes Popocatépetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Colima. En: Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinosa (Eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

[24] Liquen. Wikipedia [En línea]: https://es.wikipedia.org/wiki/Liquen].

[25] CONANP. 2006. *Programa de Manejo del Parque Nacional Volcán Nevado de Colima.* México: CONANP.

[26] CONANP. 2013. *Programa de Manejo del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl*. México: CONANP.

[27] Ramírez Amezcua Y., V.W. Steinmann, E. Ruiz Sánchez y O.R. Rojas Soto. 2016. Mexican alpine plants in the face of global warming: potential extinction within a specialized assemblage of narrow endemics. *Biodiversity and Conservation* 25:865-885.

[28] Stachowicz, J.J. 2001. Mutualism, Facilitation, and the Structure of Ecological Communities. *BioScience* 51:235-246.

[29] *Diario Oficial de la Federación*. 2015. Proyecto de Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010. Secretaría de Gobernación, México [En línea]: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420810&fecha=21/12/2015].



Mosca sobre inflorescencia de *Eryngium proteaeflorum* en el Iztaccíhuatl.
Foto: © Adolfo López Magaña



Conservando el pastizal alpino mexicano

CONOCIMIENTOS, AMENAZAS Y ESPERANZAS

SUSANA MAZA-VILLALOBOS MÉNDEZ,
HELENA COTLER ÁVALOS,
LUCÍA ALMEIDA-LEÑERO,
JÜRGEN HOTH,
VICTOR W. STEINMANN,
ALICIA MASTRETTA YANES
Y RODRIGO ALEJANDRO HERNÁNDEZ CÁRDENAS

Cara sur del Pico de Orizaba con pastos amacollados y *Senecio mairetianus* en plena floración.
Foto: © Victor W. Steinmann

¿Has caminado entre los pastos color ocre de la cima del Iztaccíhuatl, del Nevado de Toluca, del Cerro Potosí o del Volcán Tacaná? Estos pastos son parte de un ecosistema natural, el Pastizal Alpino (PA), dominado por hierbas y pastos nativos y que sólo existe en las cimas más altas del país.[1] Aunque su mayor parte se encuentra dentro de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), enfrenta problemas que afectan su subsistencia. Aquí exploraremos algunas problemáticas y propuestas para su conservación.

Pese a su limitada área de distribución en México, el PA alberga diversas especies de plantas y animales; algunas endémicas como la garañona de montaña (*Castilleja tolucensis*) y otras cuya distribución es más amplia, pero que tienen un importante refugio en el PA como el lince (*Lynx rufus*), el teporingo o zacatuche (*Romerolagus diazi*) o la flor de montaña (*Eryngium proteaeflorum*). Además, los PA brindan diversos servicios ecosistémicos, como captación de agua y retención de suelo. Los pastos o zacatones son capaces de retener el agua de la neblina y del deshielo, filtrándola hacia el suelo que retienen con sus raíces.[2]

Desafortunadamente, poco o nada se habla del PA en México. Los libros de texto dan pistas de su existencia con algunas fotografías[3] y frecuentemente se engloba con otros

ecosistemas como las sabanas y las estepas del norte del país.[4-8] En una revisión de literatura científica sobre PA en México, encontramos menos de cien trabajos sobre su biología o ecología, la mayoría florísticas.[9, 10] Si bien este conocimiento es fundamental, resulta urgente estudiar los procesos ecológicos esenciales para su manejo y conservación. Además, las investigaciones se han realizado principalmente en los volcanes Iztaccíhuatl, Popocatépetl y Nevado de Toluca; del resto de áreas se sabe aún menos. Aunado a lo anterior, el PA enfrenta diversas presiones generadas por actividades humanas directas (turismo no controlado) e indirectas (calentamiento global).[11]

¡Nunca fui bosque!

A lo largo de millones de años de evolución, en el PA se establecieron principalmente pastos en forma de macollos; los registros de polen fósil indican que las especies del PA han conformado este ecosistema desde hace más de 5 000 años.[12] Los pastos del PA son un grupo funcional importante para este ecosistema; además, pueden ser nodrizas, es decir, una especie que da protección y facilita que otras especies de plantas puedan establecerse cerca de ellas.[13]

En los Programas de Manejo de las ANP donde se distribuye el PA, éste se considera como un ecosistema frágil y prioritario para la conservación; desafortunadamente, los planes de restauración de algunas ANP han incluido procesos de "aforestación", es decir, la siembra de árboles donde naturalmente no se desarrollan, a costa de la remoción de la vegetación alpina.

Aunque aún no se ha evaluado el efecto de la aforestación en los PA de México, es claro que la introducción de árboles (aunque sean nativos de las zonas altitudinales inferiores como *Pinus hartwegii*), generará cambios en el ecosistema. Algunos estudios señalan que la aforestación en los páramos de montaña en Sudamérica y los pastizales templados en Nueva Zelanda,[14] similares a los PA de México, tiene consecuencias graves. Como resultado de la aforestación en estos sitios, en veinte años se redujo hasta 40% la infiltración de agua, debido a que se incrementó la tasa de transpiración (los árboles pierden más agua que los pastizales nativos), reduciendo el contenido de agua que el suelo puede absorber.[14] Los pastos alpinos han evolucionado para un mejor manejo del agua bajo condiciones de alta radiación y fuertes cambios de temperatura a lo largo del día, de 0 hasta 30 °C.[15] En algunas especies se ha observado que los estomas (orificios por donde respiran las plantas) se localizan en surcos profundos de las hojas, donde se protegen de la radiación solar y pierden menos agua.[16] Además, la forma de los pastos y las grandes extensiones de sus raíces hacen que éstos sean muy buenos captando agua y reteniendo suelo.[14, 17, 18]. Los pastos amacollados como *Muhlenbergia* y *Calamagrostis,* y las plantas acojinadas como *Arenaria bryoides*, característicos de los PA mexicanos, almacenan grandes cantidades de agua en el tejido muerto que acumulan; esto, además, les permite amortiguar los cambios bruscos de temperatura.[19]

Otro efecto no evaluado es el microclima generado debajo de la copa de los árboles sembrados. Es probable que éste impactará a las comunidades originales de plantas y animales asociados a ellos, promoviendo el crecimiento poblacional de algunas especies y limitando el de otras, como es el caso del teporingo o zacatuche, que dependen de la presencia del zacatón; de hecho su nombre deriva del náhuatl *zacatl*, zacatón, y *tochli*, conejo: el conejo del zacatonal.



Castilleja tolucensis (Orobanchaceae) en floración; especie endémica de la FVTM. Foto: © Victor W. Steinmann

Aunque se pronostica que, debido al calentamiento climático, la línea de árboles contigua a la zona alpina en México avanzará hacia arriba, el proceso será lento,[9, 20] pues depende de muchos factores ambientales. Si el ambiente alpino fuera ideal para la presencia de pinos, estaría llena de éstos, pero no es así. Por ello, no debemos forzar con "reforestaciones" el establecimiento de especies en lugares en donde no existen, y menos a costa de la eliminación de las especies originales y de la pérdida del ecosistema.

Tinas ciegas ¡realmente ciegas!

En los últimos diez años, en el Iztaccíhuatl o el Pico de Orizaba, existen áreas de PA llenos de socavones rectangulares, llamados tinas ciegas o zanjas trincheras; éstas son excavaciones en el suelo de 40 × 200 × 40 cm (el tamaño de un refrigerador) y son una técnica forestal originalmente propuesta para aumentar la captura y absorción de agua y para la conservación y restauración del suelo.[21]



Aforestación de un pastizal subalpino con *Pinus hartwegii* (Pinaceae) en Paso de Cortés, al fondo el Popocatépetl.
Foto: © Jürgen Hoth

Sin embargo, en México, esta técnica se ha usado amplia e indiscriminadamente, sin considerar la diversidad geográfica, ecológica y socioeconómica de los lugares en donde se ha realizado, teniendo efectos adversos para el mantenimiento y conservación de los suelos.[22, 23] En particular, para el PA del Iztaccíhuatl se encontró que no es necesaria ya que la vegetación protege el suelo y permite una buena infiltración.[24]

El primer impacto de las tinas ciegas es la extracción (~100 ton de suelo/ha) y destrucción del suelo y su acumulación formando un bordo.[22, 23] Dado que la parte superficial de los suelos se caracteriza por un mayor contenido de carbono, la remoción de esta materia orgánica ocasiona que los bordos retengan poca humedad y obstaculicen el crecimiento de la vegetación nativa y de la aforestación. Al no desarrollarse la vegetación natural, ésta queda fragmentada, además de que es común ver que las tinas ciegas desencadenan procesos de erosión que pueden durar varios años y formar deslizamientos;[25] bajo lluvias o vientos fuertes, la tierra expuesta se erosiona y es arrastrada ladera abajo, azolvando cuerpos de agua.

Cuando el suelo extraído entra en contacto con la atmósfera, el carbono orgánico se oxida y libera dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera; el CO_2 es uno de los gases de efecto invernadero que promueven el calentamiento global. Así pues, en lugar de que el ecosistema funcione como reserva de carbono (lo que hacía antes de tener tinas ciegas), ahora es en una fuente emisora de CO_2 (˜6 ton/ha), como los campos ganaderos o las zonas deforestadas.[23]

El nivel del impacto de esta práctica, realizada desde principios del milenio, sin bases científicas, es verdaderamente alarmante. Datos de la CONANP[26] reportan que tan sólo entre 2007 y 2012, en las principales ANP del centro del país incluyendo los parques nacionales Izta-Popo, Pico de Orizaba, Cofre de Perote y Malinche, se removieron ~327 000 m^3 de tierra.[26] Tomando en cuenta a Cotler *et al.*,[23] esta cantidad de suelo removido potencialmente liberaría ˜25 000 ton de gases efecto invernadero. Este volumen de suelo equivaldría a más de 54 000 camiones de volteo cargados de azolve (los camiones alineados, cada 70 m, cubrirían desde Tijuana hasta Tapachula). Para colmo de males, ambas prácticas (tinas ciegas y aforestación) se han realizado conjuntamente, sumando su impacto negativo en la flora, la fauna, el suelo y el proceso hidrológico y atmosférico.

La magnitud del impacto de los azolves generados en ríos y presas, que resulta en inundaciones de ciudades y pueblos cuenca abajo, aunada a la alteración del paisaje que conlleva la construcción de tinas ciegas aún se desconoce, pero muy probablemente afecta el hábitat de diversas especies, su disponibilidad de alimento o/y sus zonas de anidación, tránsito y refugio. Las tinas ciegas construidas en los PA de México son una amenaza potencial para la pérdida de biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Por todo lo anterior y con las recientes evidencias científicas aportadas[22, 23] es importante reconocer y celebrar que la CONAFOR tuvo a bien, desde 2015, dejar de apoyar estas prácticas en el centro del país.[27]

Cada vez más gente

El turismo masivo en algunos sitios como el Nevado de Toluca, el Iztaccíhuatl y el Nevado de Colima genera pro-

blemas como acumulación de basura, pisoteo de vegetación, apertura de nuevos caminos, extracción de plantas y animales, y presencia de fauna exótica, como perros. Recientemente, algunas ANP limitan la cantidad de gente a estos lugares para disminuir el impacto al ecosistema y evitar accidentes. Como visitantes podemos seguir el lema de los montañistas: "dejar la montaña mejor de como la encontraste".

La urgencia de conservar el pastizal alpino

Los PA mexicanos son resultado de la evolución de la vida en condiciones frías y extremas. Sus especies están adaptadas a este ambiente y son fundamentales para su funcionamiento. La aforestación y la implementación de tinas ciegas están lejos de promover su conservación y deben ser evaluadas, pero también es necesario tomar acciones sobre otras presiones como el mal manejo ganadero, los incendios no prescritos y el turismo descontrolado. Si esto no fuera suficiente, se calcula que, debido al calentamiento global, en 2050 se perderá más del 50% del área con clima adecuado para su desarrollo en nuestras montañas, así que disminuir las presiones y disturbios se vuelve aún más urgente.[28] Se necesitan estudios científicos que, junto con las ANP, respalden decisiones adecuadas para la conservación y manejo de los PA. Recientemente se han tomado pasos importantes al buscar implementar el manejo adaptativo[29] en el que constantemente se evalúen las prácticas de manejo e implementen prácticas adecuadas para su conservación.

Bibliografía

[1] Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (edición digital).

[2] Holdsworth, D.K., y A.F. Mark. 1990. Water and nutrient input: output budgets: effects of plant cover at seven sites in upland snow tussock grasslands of Eastern and Central Otago, New Zealand. *Journal of the Royal Society of New Zealand* 20(1): 1-24.

[3] http://www.librosdetexto.sep.gob.mx/

[4] http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap2_ecosistemas.pdf

[5] http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/421.pdf

[6] http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales.html

[7] http://www.paismaravillas.mx/explora.html

[8] http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/vegetacion/pastizal.aspx?tema=T

[9] Beaman, J.H. 1962. The timberlines of Iztaccihuatl and Popocatepetl, Mexico. *Ecology* 43(3): 377-385.

[10] Almeida-Leñero, L., M. Escamilla, J.D.A. Giménez, A. González Trápaga y A.M. Cleef. 2007. Vegetación alpina de los volcanes Popocatépetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca, pp. 179-198. En: I. Luna, J.J. Morrone y D. Espinosa (eds.), *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. México: UNAM/CONABIO.

[11] Sala, O.E. *et al.* 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* 287: 1770-1772.

[12] Lozano García, S. y L. Vázquez. 2005. A high elevation Holocene pollen record from Iztaccihuatl volcano, Central Mexico. *Holocene* 15:329-338.



Ladera de pastizal alpino con centenares de tinas ciegas, Cerro Alzomoni, Paso de Cortés.
Foto: © Jürgen Hoth



Arenaria bryoides, Castilleja tolucensis y *Festuca tolucensis* creciendo juntos.
Foto: © Victor W. Steinmann

[13] Turner, R., S. Alcorn, G. Olin y J.A. Booth, 1966. The influence of shade soil and water on saguaro seedling establishment. *Botanical Gazette* 127: 95-102.

[14] Mark, F.A. y J.M.K. Dickinson. 2008. Maximizing water yield with indigenous non-forest vegetation: a New Zealand perspective. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(1): 25-34, doi:10.1890/060130.

[15] Kappelle, M. 2005. Hacia una breve descripción del concepto páramo. En: M. Kappelle y S. Horn (Eds.). *Páramos de Costa Rica*. San José: INBio.

[16] Mark, F.A. 1975. Photosynthesis and dark respiration in threealpine snow tussocks (Chionochloa spp) under controlled environments. *New Zealand Journal of Botany* 13:93-122.

[17] Pearce, A.J., L.K. Rowe y C.L. O'Loughlin. 1984. Hydrology of mid-altitude tussock grasslands, upper Waipori catchment: II Water balance, flow duration and storm runoff. Journal of Hydrology (New Zealand) 23: 60-72.

[18] Ingraham, N.L., y A.F. Mark. 2000. Isotopic assessment of the hydrologic importance of fog deposition on tall tussock grass on southern New Zealand uplands. *Austral Ecology* 25: 402-408.

[19] Rundel, P. 1994. Tropical Alpine Climates. En: P. Rundel, A. Smith y F. Meinzer (eds.), *Tropical alpine enviroments: plant form and function*. Cambridge: Cambridge University Press.

[20] Alfaro Ramírez, F.U., J.T. Arredondo Moreno, M. Pérez Suárez y A.R. Endara Agramnt. 2017. Pinus hartwegii Lindl., tree line ecotone: structure and altitudinal limits at Nevado de Toluca, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(2): 261-273.

[21] CONAFOR. 2006. *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas*. 3ª edición. México: CONAFOR. [En línea]: http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1313Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos.pdf

[22] Cotler, H., S. Cram, S. Martínez Trinidad y E. Quintanar, 2013. "Forest soil conservation in Central Mexico: An interdisciplinary assessment". *Catena* 104: 280-287.

[23] Cotler, H., S. Cram, T.S. Martínez y V. Bunge, 2015. Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 88: 6-18, dx.doi.org/10.14350/rig.47378

[24] Ramírez-Santiago, A. 2016. *Impacto ambiental de zanjas de infiltración en el Parque Nacional Izta-Popo (estado de México).* Tesis de Licenciatura. México: Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía-UNAM.

[25] Galván Díaz, E.L. 2016. *Impacto de las zanjas trinchera sobre la calidad del suelo en laderas medias del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl*. Tesis de Licenciatura. México: Facultad de Ciencias-UNAM.

[26] CONANP. 2013. *Principales Impactos del Programa de Empleo Temporal en las Áreas Naturales Protegidas 2007-2012*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Consultado en: www.conanp.gob.mx/pet/pet_2014/PET_2013_final_baja.pdf

[27] CONAFOR. 2017. Reglas de Operación del Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable 2018. *Diario Oficial de la Federación*, 30/12/2017. Consultado en: www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5509803&fecha=30/12/2017

[28] Ramírez Amezcua, Y., V.W. Steinmann, E. Ruiz Sánchez, y O.R. Rojas Soto. 2016. Mexican alpine plants in the face of global warming: potential extinction within a specialized assemblage of narrow endemics. *Biodiversity and Conservation* 25: 865-885.

[29] Almeida, L., H. Cotler, S. Cram, J.M Frausto, J. Hoth, E. Rendón, J.A. Reyes y A. Salvatierra (eds.), *Manejo adaptativo en Áreas Naturales Protegidas Región Centro de México y Eje Neovolcánico*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP)/CI/FC-UNAM/FMCN/GFA/UICN/GIZ/IGG-UNAM/WWF. Consultado en: https://agua.org.mx/biblioteca/manejo-adaptativo-en-areas-naturales-protegidas-la-region-centro-eje-neovolcanico/

[30] Ramírez Amezcua, Y., V.W. Steinmann, E. Ruiz Sanchez y O.R. Rojas Soto. 2016. Mexican alpine plants in the face of global warming: potential extinction within a specialized assemblage of narrow endemics. *Biodiversity and Conservation* 25: 865-885.

Autores de los artículos, en estricto orden alfabético

Lucía Almeida Leñero: Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad Universitaria, CDMX; lucia0950@ciencias.unam.mx

Libertad Arredondo Amezcua: Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz; arredondolibertad@gmail.com

Helena Cotler Ávalos: Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, CDMX; helena.cotler@gmail.com

Carlos A. Gutiérrez Chávez: Morelia, Michoacán; terekua.cagc@hotmail.com

Rodrigo Alejandro Hernández Cárdenas: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, CDMX; ralejandrohc@gmail.com

Jürgen Hoth: Iniciativa Bosque de Agua; jurgenhoth1521@gmail.com

Silvana Martén Rodríguez: Universidad Nacional Autónoma de México-Laboratorio Nacional de Análisis y Síntesis Ecológica-Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, Michoacán; smartenr@gmail.com

Alicia Mastretta Yanes: CONACYT-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Tlalpan, CDMX; amastretta@conabio.gob.mx

Susana Maza-Villalobos Méndez: CONACYT-ECOSUR, Tapachula, Chiapas; smazavm@gmail.com

Yocupitzia Ramírez Amezcua: Pátzcuaro, Michoacán; yocupitzia@yahoo.com

Victor W. Steinmann: Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, Querétaro; steinmav@gmail.com

La Universidad Nacional Autónoma de México | Dirección General de Divulgación de la Ciencia, Universum | Museo de las Ciencias, Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

te invitan a visitar la exposición temporal



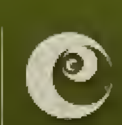
A partir del 23 de noviembre de 2018 al 3 de marzo de 2019

Universum | Edificio A, Planta baja

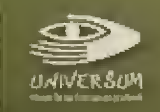
Circuito Cultural de Ciudad Universitaria S/N, Coyoacán,
Cd. Universitaria, 04510 Ciudad de México

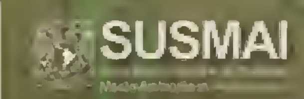
www.universum.unam.mx/exposiciones/t/producir-conservando



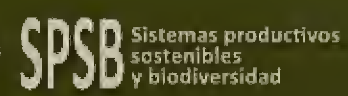

















Te invitamos a visitar estas exposiciones con obras del escultor mexicano Davit Nava

AVES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Una sinfonía de colores

Del 30 de noviembre de 2018 al 28 de febrero de 2019.

Museo Interactivo del Zoológico de Chapultepec

CONABIO COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Davit Nava crea arte sustentable y está comprometido con la protección de la naturaleza. Con su obra busca usar el potencial de las artes visuales para colocar el acento en temas ambientales y acercar a las personas a la conservación del planeta tierra.





Del 15 de diciembre de 2018 al 28 de febrero de 2019.

Estación del Metro Coyoacán, Ciudad de México







De nuestros mares para los paladares

Consumo responsable para restaurar nuestros mares



Visita esta exposición y asómbrate con el colorido mural de 45 metros de largo donde podrás conocer 88 especies de peces comestibles en su tamaño real que viven en nuestros mares mexicanos.

A partir del 21 de noviembre de 2018
Zoológico de Chapultepec CDMX
Bioma tundra

¿Sabes de dónde vienen los peces que comemos?













Catálogo ilustrado de los céstodos tipo de la Colección Nacional de Helmintos

Desde 1929 existe en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México una colección biológica encargada del resguardo y estudio de los animales parásitos con forma de gusano, llamados en su conjunto "helmintos". Esta colección aloja un importante conjunto de ejemplares biológicos que representan uno de los mayores acervos de parásitos del país y uno de los más importantes a nivel mundial. Entre los grupos más representativos de la colección se encuentra el de los céstodos, gusanos planos que por su alta diversidad en formas y tamaños, su estrecha asociación con los organismos que parasita, así como por su innegable importancia médica y veterinaria, han acaparado la atención de numerosos investigadores tanto mexicanos como extranjeros. En las colecciones biológicas existe un conjunto muy particular de ejemplares de un valor científico incalculable: los "tipos" y son los ejemplares empleados por los taxónomos para describir determinada especie. Dentro de los tipos, hay una clase de ejemplares que son aún más importantes: los holotipos. En la colección se cuenta con alrededor de 560 holotipos, producto del esfuerzo de taxónomos mexicanos y extranjeros quienes por cerca de 90 años se han abocado a su estudio.

Además de mostrar fotografías de muy alta calidad en las que se resaltan los caracteres morfológicos necesarios para la identificación de los ejemplares, los autores nos brindan una breve diagnosis de la especie y nos explican algunos de los cambios taxonómicos ocurridos desde la descripción de cada una de las 58 especies de céstodos hasta la fecha. El contenido científico de esta obra es innegable y es sin duda un ejemplo muy claro de una publicación muy bien cuidada en cada uno de sus aspectos como el contenido, calidad de las fotografías y la presentación en general.









La misión de la CONABIO es promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad.

Sigue las actividades de CONABIO a través de las redes sociales









Biodiversitas es de distribución gratuita. Prohibida su venta.

Los artículos reflejan la opinión de sus autores y no necesariamente la de la CONABIO.
El contenido de *Biodiversitas* puede reproducirse siempre que se citen la fuente y el autor.
Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor: 04-2013-060514223800-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13288. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10861.

EDITOR RESPONSABLE:	Fulvio Eccardi Ambrosi
DISEÑO:	Tools Soluciones
CUIDADO DE LA EDICIÓN:	Adriana Cataño y Leticia Mendoza
PRODUCCIÓN:	Gaia Editores, S.A. de C.V.
IMPRESIÓN:	Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V.

fulvioeccardi@gmail.com • biodiversitas@xolo.conabio.gob.mx
COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD
Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal, Tlalpan 14010 Ciudad de México
Tel. 5004-5000, www.gob.mx/conabio. Distribución: nosotros mismos